

跳躍機械に関する研究

著者	大久保 宏樹
号	1443
発行年	1992
URL	http://hdl.handle.net/10097/6716

氏 名	大 久 保 宏 樹		
授 与 学 位	博 士 (工 学)		
学位授与年月日	平成 5 年 3 月 25 日		
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 1 項		
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 機械工学第二専攻		
学 位 論 文 題 目	跳躍機械に関する研究		
指 導 教 官	東北大学教授 中野 栄二		
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 中野 栄二	東北大学教授 長南 征二	
	東北大学教授 谷 順二	東北大学教授 江村 超	

論 文 内 容 要 旨

1 序 論

ロボットの移動の必要性が求められるようになり車輪型, 脚型移動の研究が数多く行われてきた。しかし, これらの移動方式では移動面に対して不連続でロボットの背丈の数分の 1 以上の大きさの障害物に対応することは難しい。このような環境においては跳躍移動を用いることが有効であると考えられる。

本研究の目的は機械やロボットに 1 回の跳躍で大きな段差や谷を移動させることである。そのためには, 次が必要になる。

- 大きな跳躍ができること。
- 跳躍方向が制御できること。
- 空中において姿勢が制御できること。
- ソフトランディング (軟着地) ができること。
- 自立化が可能であること。

本論文では, 跳躍機械の必要な諸条件と具体的な手法について考察し, 実際の跳躍機械を製作し, これを用いて実験を行い, その有効性の確認を行う。まず, 第 2 章では製作した自立可能な跳躍機械の概要が述べられる。大きな跳躍を実現するために第 3 章では, ばねとアクチュエータによる跳躍機械の構成法が示される。第 4 章では, 地面から受ける衝撃力を軽減する着地制御の手法が示される。さらに第 5 章では, この着地制御が 2 次元平面内の着地に適用される。また, 第 6 章では跳躍と着地についての跳躍機械の寸法効果が検討される。第 7 章では, 実用化のための問題点を挙げ,

その解決法が述べられる。

2 跳躍機械の概要

本章では、製作した跳躍機械の概要、モデル化した跳躍機械の運動方程式の導出、製作した跳躍機械の運動について述べられる。

本研究で製作された跳躍機械は、アクチュエータ、センサ、コンピュータなどが搭載された胴体部と脚部とから構成される。胴体部は、脚部に沿って移動できる。胴体部と脚部はばねにより結ばれている。この跳躍機械はばねとアクチュエータを用いて、跳躍運動を行う。

力学と制御を考えるとときに運動方程式を用いることは大変有効となることから運動方程式の導出を行っている。

製作した跳躍機械の4つの基本的な動作についての説明をしている。この跳躍機械の代表的な運動である助走、跳躍、着地動作の実験結果を示している。

3 ばねとアクチュエータによる跳躍機械の構成法

本章では跳躍機械がより大きな跳躍を行うためにばねとアクチュエータの構成法が述べられる。

跳躍機械の使用範囲を広げるためには、第1に大きな跳躍が要求される。そのためには跳躍機械が跳躍前に大きなエネルギーを得て、そのエネルギーを跳躍高さに変換しなければならない。なお、本論文では跳躍高さを地面と跳躍機械下端との距離と定義する。そして、大きな跳躍を行うために、跳躍機械をアクチュエータと機械要素の1つであるばねとから構成することにより、従来にはない大きな跳躍高さを得ることを可能にする。

次に、製作した跳躍機械のモデルを用いて跳躍高さの解析を行い、大きな跳躍高さを得るために必要な要因の検討を行っている。

そして、跳躍の指標として跳躍機械の胴体部加速可能距離 L_{max} に対する最大跳躍高さ H_{max} を表す、“跳躍高さ係数 η_J ” が提案される。

$$\eta_J = \frac{H_{max}}{L_{max}}$$

胴体部加速可能距離とは、脚部に対して胴体部が移動できる最大長さのことをいう。

次に、製作した跳躍機械のモデルによる鉛直方向の跳躍の原理が説明される。その中でばねを用いることの利点と欠点が述べられる。

そして、ばね定数をパラメータとした場合において大きな跳躍高さ係数を持つ跳躍機械の構成法が示される。この手法の妥当性および跳躍機械をばねとアクチュエータから構成することの有効性が理論計算と実験により確かめられている。

4 鉛直方向の跳躍運動における跳躍機械の着地制御

地面から受ける衝撃力を軽減するような跳躍機械の着地制御の考察がなされる。

跳躍機械が着地時において全く制御を行わない場合には、跳躍機械は地面から大きな衝撃力を受

けて壊れるおそれがある。このようなことは必ず避けなければならない。そのために着地時において跳躍機械が地面から受ける衝撃力を軽減する跳躍機械の最適ソフトランディングの定義が提案される。

- ・第1に跳躍機械が地面から受ける力の絶対値の積分値を最小にする。

$$S_F = \int_0^{t_e} |F| dt \rightarrow \min$$

F : 跳躍機械が地面から受ける力 (N)

t_e : 跳躍機械の脚部が地面に接地してから
跳躍機械が静止するまでの時間 (s)

なお、 F に絶対値をつけたのは、力の方向によらず跳躍機械の受ける力を評価するためである。

- ・次に地面から受ける力の絶対値の最大値を最小にする。

$$\max |F| \rightarrow \min$$

胴体部質量が脚部質量に比べてかなり大きいときには胴体部のみ着地制御を行えば十分である。そのときの胴体部着地軌道が最適ソフトランディングの定義から求められる。

一方、脚部と地面との衝突時間は非常に短い。脚部が受ける衝撃力が無視できない場合には、脚部着地制御として脚部と地面との相対速度を0とする制御を行う。

以上の着地制御の有効性を製作したばねを持たない簡略化された跳躍機械の着地実験により確かめている。

5 跳躍機械の2次元平面内着地制御

跳躍機械の2次元平面内における着地制御の考察がなされる。

跳躍機械が宙に浮いているときには、外乱が加わらない限り跳躍開始時に跳躍機械の重心が持つ速度ベクトルを含む平面内を放物運動する。したがって跳躍機械が障害物を跳び越す動作を実現するためには、2次元平面内の着地制御が必要不可欠になる。また、本章では着地制御後に跳躍機械が静止するもの（静止着地）を取り上げる。

この胴体部の2次元平面内着地制御に第4章で提案された跳躍機械の最適ソフトランディングの定義を適用する。その場合には胴体部静止着地位置（着地制御終了時に胴体部が静止する位置）が重要なパラメータとなることが示される。この胴体部静止着地位置をパラメータとした場合の着地軌道の例が示される。

そして、ばねとアクチュエータから構成される跳躍機械を用いた2次元平面内の着地実験により、この着地制御の有効性が示される。

6 跳躍機械の寸法評価

跳躍機械の寸法効果についての考察がなされる。

生物の中で跳躍を得意としているのは蚤やバッタなど小さい生物である。このことから跳躍移動

は小さな機械やロボットの移動に適していると予想できる。そこで跳躍機械の寸法効果を跳躍と着地の面から検討をする。

まず、ばねとアクチュエータから構成される跳躍機械とばねを用いずにアクチュエータだけで跳躍を行う跳躍機械の跳躍高さ係数の計算を行っている。これにより寸法の小さな跳躍機械ほど跳躍高さ係数は大きくなることが得られている。また、ばねの効果は寸法の小さな跳躍機械ほど大きいことが得られている。

また、着地制御時における跳躍機械の寸法の違いによる胴体部が受ける力、応力、アクチュエータの胴体部着地軌道の実現能力、脚部が受ける圧縮応力について解析を行っている。そして寸法の小さな跳躍機械ほど胴体部が受ける力、応力、脚部が受ける圧縮応力が小さいこと、アクチュエータの胴体部着地軌道の実現能力が高いことが得られている。解析結果から次のようなことを得ている。非常に小さな跳躍機械は、着地時に地面から受ける衝撃力が小さいために着地制御の必要性が小さいと考えられる。跳躍機械の寸法が大きくなるにつれて、胴体部ソフトランディングが必要になる。そして、さらに跳躍機械の寸法が大きくなると胴体部ソフトランディングとともに脚部ソフトランディングも不可欠になる。

7 実用化への検討

跳躍機械の実用化への検討がなされている。

実用化のためには、自立化されていること、跳躍高さがその環境において十分得られること、最低限の外界センサが得られていることなどが重要と考えられる。第6章において跳躍機械は寸法の小さいもののほど有効であることが示された。また、人間が生活する環境もしくは、もっと大きな障害部が存在するような環境において跳躍機械を使用する場合には、跳躍機械の寸法が大きくなり跳躍高さ係数が小さくなる。そのため跳躍高さが不足することが考えられる。

そこで、跳躍機械を有効に利用するために、重力加速度の小さな場所での跳躍機械の使用についての考察がなされる。次に、気球を跳躍機械に取り付け、その浮力を利用し、大きな機械の跳躍についての考察がなされる。

8 結 論

本章は、3章から7章において得られた結果を簡潔に要約して総括したものである。

審 査 結 果 の 要 旨

移動ロボットの重要課題の一つとして、ロボットの大きさに対して大きな障害物の移動の問題がある。本論文は、このような厳しい環境には跳躍移動を行うことが有効であるという観点から、特に重要な大きな跳躍を得るための跳躍機械の構成法と着地時に衝撃力をできるだけ受けないように着地を行う手法の提案、さらに跳躍機械の寸法効果についての考察を行っている。以上まとめて全編8章よりなる。

第1章は、序論である。

第2章では、本研究の実施対象となる研究用の跳躍機械の開発について述べている。

第3章では、ばねとアクチュエータから構成される跳躍機械の構成法について述べている。跳躍機械をアクチュエータと機械要素の1つであるばねから構成し、これらを最適に制御することにより従来の機械にはない、大きな跳躍を可能としている。また、跳躍高さ係数という新しい概念が提案され、これを最適にする跳躍機械を構成する手法が示されている。

第4章では、跳躍機械の着地制御の考察がなされている。着地時において跳躍機械が地面から受ける衝撃力を軽減するための跳躍機械の最適ソフトランディングの定義が新たに提案されている。この定義にしたがって、跳躍機械の着地軌道が求められている。そして実験により、着地制御の有効性を示している。

第5章は、跳躍機械の2次元平面内における着地制御の考察がなされている。ここでは、障害物を跳び越すときに不可欠な2次元平面内の着地制御を扱っている。特に着地後に静止する動作について考えており、この場合の着地の特徴、着地軌道などが示されている。そして実験により着地制御の有効性を示している。

第6章は、跳躍機械の寸法効果について述べられている。ここでは、跳躍機械の寸法の違いによる跳躍機械の構成法と寸法の違いによる着地制御の適用法について有用な指針を示している。

第7章は、実用化に向けての考察を行っている。

第8章は結論である。

以上要するに本論文はロボットの移動に跳躍移動の概念を導入し、そこに生じる諸問題の解明を試み、多くの重要な知見を与え、有効な提案をなしたものでロボット工学の発達に寄与するところが少なくない。

よって本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。